

산학연 연구실 소개

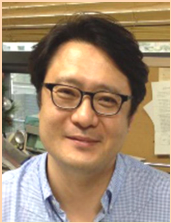
서강대학교 바이오계면연구소

(Institute of Biological Interfaces, Sogang University)

주소: 서울 마포구 백범로 35 서강대학교 바이오계면연구소 (R311, K209, TE218, RA202) (우: 04107)

전화: 02-715-0797 (연구소) / 02-705-8441 (교수연구실)

홈페이지: 바이오계면연구소 <https://www.nano-bio.com> / 첨단바이오계면핵심연구지원센터 <https://www.biocore.re.kr>



연구책임자 | **신관우** 교수

서강대학교 화학과
바이오계면연구소

1. 연구실 소개

서강대학교 바이오계면연구소는 2010년 대학부설연구소로 설립한 후, 2018년 교육부지정 대학 중점연구소에 선정되고, 2020년 핵심지원센터인 “첨단 바이오계면 연구지원센터(BioCore)”를 유치하여 현재 34개의 첨단화학장비를 운영하고 있다. 특히, 2021년 독일 MPI에서 개발하고 Abberior에서 세계 최고분해능을 갖는 STED 공초점현미경을 설치하여 운영하고 있다. 2015년 상처를 치료하기 위한 세포로 이식하는 “세포스티커”, 그리고 2017년 잉크젯 프린터로 다양한 질병 진단을 할 수 있는 종이전자칩의 연구 등을 발표한 바 있다. 2019년에는 빛으로 ATP를 생성하는 인공세포를 만들어 *Nature Biotechnology* 표지논문에 발간, 국가연구개발우수연구에 선정된 바 있다. 신관우 교수는 지난 2018-2020년 동안 “빈곤을 이겨낼 수 있는 착한 과학기술”을 연구하는 한국 적정기술 학회장을 맡아 한국의 과학기술을 이용한 개발도상국 지원과 협력을 위한 학술활동을 주도하였다. 현재 국제협력선도대학사업, KOICA 국제협력사업, 그리고 World Bank의 개발도상국 지원사업에 참여하며, 연구소의 학생-연구원들과 지속 가능한 과학기술분야의 연구와 활동에 참여하고 있다. 지난 2021년부터 국내 과학기술자 최대 NGO인 국경 없는 과학기술사회(www.sewb.org)의 회장을 맡아 과학기술자의 해외 활동을 지원하고 있다. 2021년에는 인공지능으로 활용가능한 적층형 다층 조직 배양 기술을 연구로 미국 Harvard 대학과 인도네시아의 Sanata Dharma University와 함께 국제 R&D Hub인 바이오 하이브리드(Biohybrid) 센터를 구성하여 활발한 국제화 네트워크를 수행하고 있다. 종이전자칩, 센서를 개발하는 프린팅연구(lab T), 공초점 현미경, 고해상도 STED 현미경, 저에너지 전자현미경과 IR 현미경등을 통하여 바이오 계면의 구조를 분석하는 바이오이미징센터(lab K)로 나뉘며, 핵심연구지원센터조성지원 과제로 설립한 바이오코어(BioCore) 분석 센터를 운영하고 있다. 국내의 유일한 미국 육군사관학교인 West Point의 사관생도의 여름 연구 훈련을 맡아서 지도하는 국제협력 기관이기도 하다.



그림 1. 바이오계면연구소의 연구 미션 개념도.



그림 2. 바이오계면연구소 연구 그룹.

2. 주요연구분야

2.1 세포의 기능을 수행하는 인공세포-미니멀 세포의 제작

2013년부터 기존의 인지질세포막의 표면 거동 및 구조 제어의 연구를 확장시켜, 세포의 최소기능인 빛에너지를 통한 생체에너지 전환(ATP synthesis)과 이를 이용한 인공세포막 내에서의 다양한 대사활동을 제어하는 연구를 수행해오고 있다. 빛으로부터 양성자를 발생시키고 이를 양성자 구동력(proton motive force)로 전환시켜 광인산화를 통한 ATP를 합성하고, 생성된 ATP를 이용한 다양한 세포내 단백질 합성등을 유도하는 연구를 수행하고 있다. 빛에너지 전환을 위하여 다양한 막단백질을 정제하고, 이를 인지질 이중막으로 이루어진 세포막에 삽입하고, 이를 통해 발생된 양성자를 활용하여 ATP 합성효소(ATP synthase)를 작동시킨다. 이렇게 생성된 광인산화의 결과물로 ATP는 세포내 이산화탄소고정화, 세포내 섬유단백질인 액틴(actin)과 마이크로 튜블(microtubule)과 같은 구조물 합성을 제어하고 있다.

주요 연구성과로 2018년 성균관대-하버드연구진과 함께 “세계최초로 광합성으로 단백질을 합성하는 인공세포”의 개발에 성공하여, *Nature Biotechnology*(36, 30 (2018))의 표지논문으로 선정된 바 있다. 이후로, 인공세포막에 결합된 콜레스테롤에 의한 세포막 표면의 단백질 결합구조 분석

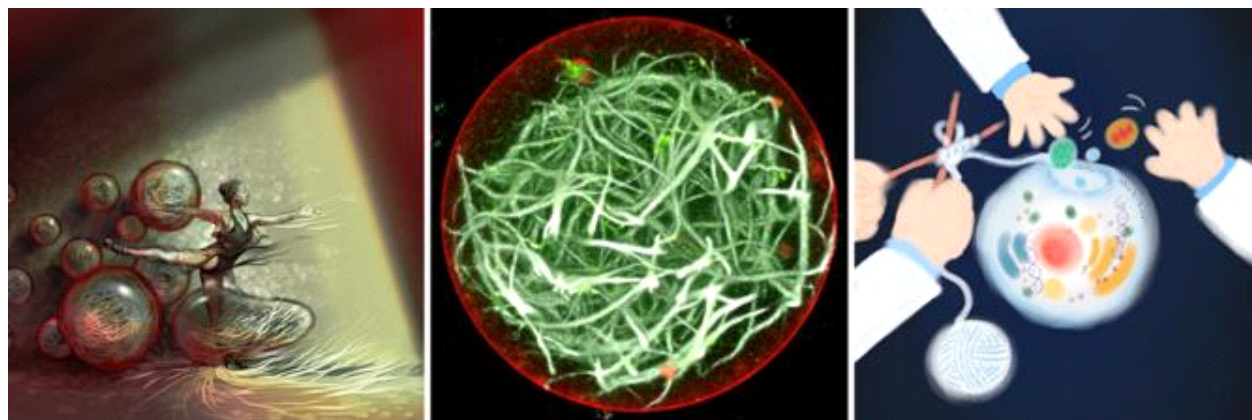
그림 3. *Nature Biotechnology* 표지논문

그림 4. (왼쪽) 화학-생명-공학등 융합연구를 통하여 단백질-막단백질-세포내 반응등을 제어하기 위한 인공세포연구의 개념도. (가운데) 빛에 의하여 얻어진 에너지로 합성된 세포내 액틴단백질의 형광현미경 사진(*Nature Biotechnology* 발췌), (오른쪽) 세포내 핵심적인 대사반응을 제어하기 위하여 외부의 다양한 신호를 전달하여 내부의 반응을 제어하는 연구의 개념도.

(*Langmuir*, **36**, 7259 (2020)), 에너지를 생성하는 막단백질을 이용한 세포체 구성의 연구를 소개한 리뷰논문(*Adv. Funct. Mater.*, 1907182 (2020)) 등을 지속적으로 발표하고 있다. 지속적으로 Harvard대학의 K. Parker 교수팀과 국제 협력 교류로 Biohybrid 센터를 설립하여 세포막 표면의 단백질인 ECM-결합 복합조직을 기술을 확보하고 세포간, 조직간의 결합한 적층형, 기능성 인공 장기 구현을 수행하고 있다.

2.2 3D/바이오 프린팅, 그리고 세포외막기질 제어 연구

바이오계면연구소는 2013년 자체적으로 3D 프린터를 설계하고 제작하여 자체 개발한 3D 프린터를 이용한 다양한 소재를 이용한 구조체 제작 및 제어의 연구를 수행하고 있다. 이를 통하여 이동 및 현장 구동이 가능한 포터블 3D 프린터, 다양한 3D 헤드의 자체 설계, 그리고 이를 이용한 새로운

3D 소재개발등에 성공한 바 있다. 2016년부터 지속적으로 연구소에서 설계한 “휴대용 3D 프린터 장치”, “다공성 3D 필라멘트”, “방사선차폐용 3D 프린팅 필라멘트”, “연골조직 바이오잉크” 등 10여 건의 특허권을 갖고 있다. 이와 같은 기술을 바탕으로, 2015년 3D 프린터를 상업화한 바 있으며, 여러건의 기술이전 실적을 갖고 있다. 3D 프린터를 제작하고, 이를 이용한 다양한 화학실험을 수행하는 STEM교육 프로그램을 운영하여, 캄보디아와 인도네시아의 대학과 고등학교에 과학교육을 지원하는 프로그램을 지난 10여 년간 주도적으로 운영, 참여하고 있다. 연구소의 참여 학생들과 함께 매년 캄보디아의 프놈펜 왕립대학(RUPP), 인도네시아의 사범대학인 사나타다마대학 등에서 과학교사 재교육, 학부 학생들 창의공학 교육등을 수행하여 3D 프린터를 이용한 설계, 제작, 활용하는 교육등을 수행하고 있다. 이러한 3D

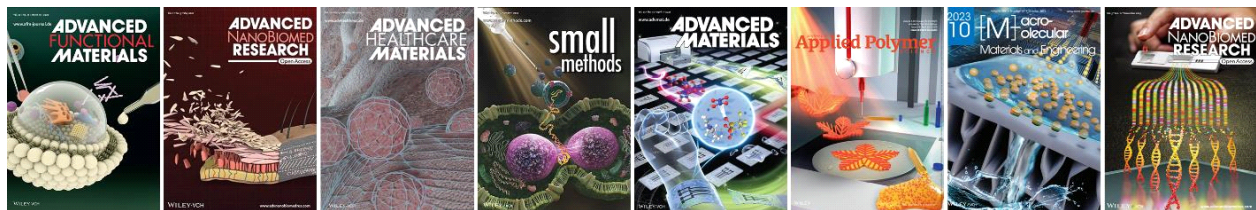


그림 5. 바이오계면연구소의 최근5년내 주요 논문 성과.

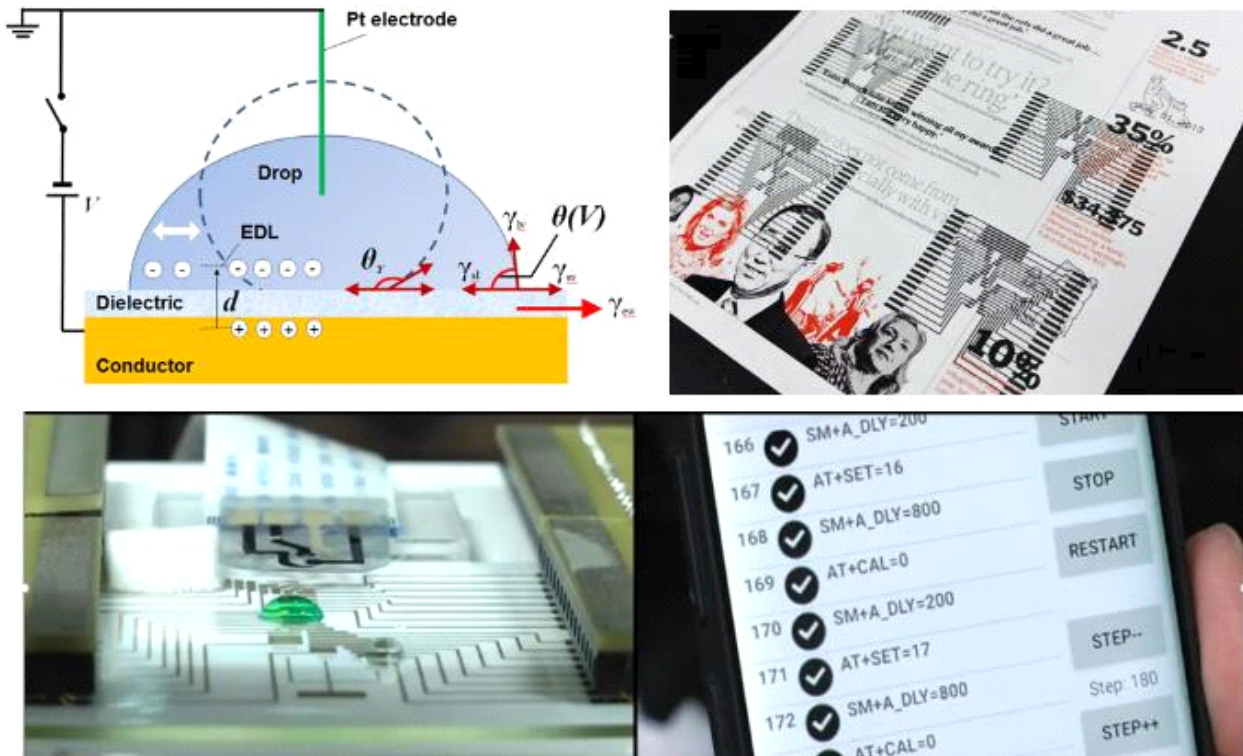


그림 6. (왼쪽위) 전기젖음성(electrowetting)의 원리를 보여주는 모식도. 전기를 가하면 유전체층에 적층된 전하로 물의 접촉각이 변화한다. (오른쪽위) 신문-잡지에 출력하여 제작한 종이전자칩의 사진. (아래) 휴대폰과 연결하여 액적을 이동시켜 혈당·도파민등의 신체의 상태를 측정하는 종이칩을 구동시키는 사진.

프린터 기술은 최근 바이오프린터에 적용하여, 다양한 적층형 인공장기와 조직배양기술에 활용하는 연구에 활발히 적용하고 있다. 하버드 대학과 2021년 *Nature Materials*(*Nat. Mater.*, **20**, 242 (2021))지에 스스로 형상을 제어하는 4D 프린팅 기술을 적용한 소재개발에 성공한 바 있다. 세포와 세포를 적층시키는 과정에는 세포외막기질(extracellular matrix)에 해당하는 파이버넥틴이나 콜라겐과 같은 특정한 단백질이 접착제와 같은 역할을 수행하며, 이러한 세포외막기질의 연구는 2015년 배양한 세포를 세포에 이식할 수 있는 “세포 스티커”(Adv. Mater., **27**, 2838 (2015)), 2017년 “세포외막 단백질기반 mm-길이의 나노파이버” 등의 기술(Adv. Mater., **29**, 31 (2017))을 포함하여, 2021년 스스로 상처를 치유하는 스마트 수술실의 개발(Adv. Healthcare Mater., **10**, 2001686 (2021)) 하는 등, 다양한 세포외막기질을 이용한 조직공학의 신기술의 성과를 내고 있다.

2.3 종이전자, 종이센서, 그리고 잉크젯프린팅

신속한 병원균의 탐지나 오염도 측정을 위하여 현장에서 신속하게 생산하고 병원이나 생물-화학실험실에서 바이오 물질의 오염 및 감염 탐지를 현장에서 신속하게 진단(Point-of Care)하기 위해서는 새로운 개념의 유체칩이 필요로 한다. 본 연구소는 종이에 갖는 장점인 손쉬운 프린팅 기술과 마이크로 유체칩의 유체의 방향과 액적의 제어를 결합하여 전기젖음성(electrowetting)이라는 새로운 개념의 디지털 유체칩을 지속적으로 연구하고 있다. 이는 전자동화된 프로그램에 의하여 정량적인 액적을 제어하기 위하여, 종이 위에 맺힌 액체방울을 하나의 단위로 하여 종이 위에 프린팅된 전도성 패턴에 의하여 유체의 이동을 제어하는 기술이다.

본 연구실에서는 이와 관련되어, 2013년 종이에 전압을 가하여 유체를 이동시키는 기술과 잉크젯 출력이 가능한 다양한 잉크기술을 자체 확보한 후, 이를 이용한 다양한 종이기반 센서와 전자소자의 개발을 진행하고 있다. 2014년 마이크로유체 종이 칩은 한 장의 종이에 다양한 모양의 전극 패턴을 한 번에 인쇄하고 필요한 패턴들을 잘라 이어 붙일 수 있는 조립식 종이 칩을 제작(Adv. Mater., **226**, 2335 (2014))

하였으며, 잉크젯 프린팅을 이용한 종이기반 디지털 종이 유체칩의 원천기술 확보(US Patents US20150110689 A1, 2015, 외 국내 특허 다수)하고 있다. 2017년 잉크젯 프린팅으로 종이전자칩을 출력하고 휴대폰으로 3개이상의 질병을 진단하는 진단하는 장비 및 분석기술(Adv. Mater. Technol., **2**, 1600267 (2017))을 개발하였다. 2020년 간단한 필기도구와 cutter를 이용한 Programmable 유체칩을 제작, 종이위에서 화학반응을 제어하고, 화생방탐지에 활용될 수 있는 센서(Lab on a Chip, **20**, 1601 (2020)) 등을 개발하였다. 2015년, 이와 같은 기술을 바탕으로 (주)lab311(www.lab311.com)이라는 실험실 벤처를 창업하여, 다양한 전자칩에 활용되는 CNT잉크와 은기반 잉크를 제조 판매 중이다. 이와 같은 기술을 바탕으로 2014년 대한민국 발명특허 전시회의 금상(산업통상부장관상)을, 2015년 미국 워싱턴의 TechConnect Expo2015에서 Innovation Award를 수상한 바 있다.

2.4 서강 바이오코어(BioCore)

교육부 기초과학연구역량강화사업의 첨단장비 집적하여 공동연구 활성화를 강화하는 사업인 핵심연구지원센터 조성 지원 사업으로 첨단 바이오계면 핵심연구지원센터(biocore)를 설립하였고 또한 “연구 장비 구축지원” 사업을 유치하여 세계적 성능을 가지는 STED 현미경을 도입, 설치 운영 중으로 세계 최고 수준의 첨단 고가 분석장비들을 구축했으며, 국내 유일의 바이오계면분석을 위한 분석전문인력으로 조직되어 외부 장비 사용 및 분석 지원을 수행하고 있다. 대표 장비로는 초고분해능 STED 현미경을 비롯하여, 6축 화학실험로봇팔, 형광현미경, ICP-MS, XRD, SEM, 열분석 TGA&DSC, imaging IR 등으로 전체 35종의 첨단 분석장비를 운영중이다. 국내외 연구자 누구라도 필요한 장비를 사용이 가능하며 구체적인 이용방법은 홈페이지(www.biocore.re.kr)를 통해서 사용할 수 있다.

